

Long-acting colloidal insulin formulation and its preparation**Publication number:** US2009110742 (A1)**Publication date:** 2009-04-30**Inventor(s):** CONSTANCIS ALAIN [FR]; NICOLAS FLORENCE [FR]; MEYRUEIX REMI [FR]; SOULA OLIVIER [FR]**Applicant(s):** FLAMEL TECH SA [FR]**Classification:****- International:** A61K9/14; A61K9/10; A61K9/51; A61K38/28; A61K47/42; A61P3/10; A61K9/14; A61K9/10; A61K9/51; A61K38/28; A61K47/42; A61P3/00**- European:** A61K38/28; A61K9/51**Application number:** US20050632992 20050609**Priority number(s):** FR20040051578 20040719; WO2005FR50431 20050609**Also published as:**

FR2873040 (A1)

JP2008506757 (T)

WO2006016078 (A1)

EP1771199 (A1)

CA2572868 (A1)

Abstract of US 2009110742 (A1)

The invention relates to injectable long-acting insulin formulations for the treatment of types I and II diabetes in humans and animals. The essential object of the invention is to provide an injectable long-acting insulin formulation in the form of a colloidal suspension which is stable, which has a good local tolerance and toxicity compatible with the chronic treatment of diabetics, and which maintains a substantial hypoglycemic effect extending over at least 24 hours after a single administration, e.g. by the subcutaneous route. To achieve this object, the invention relates to a stable aqueous colloidal formulation of insulin-laden nanoparticles of at least one poly(Leu-block-Glu) in which the pH is between 5.8 and 7.0, the osmolarity O (in mOsmol) . . . : $270 \leq O \leq 800$, and the viscosity η (in mPa.s) is low, namely $\eta \leq 40$. The nanoparticles of poly(Leu-block-Glu) have a mean hydrodynamic diameter D_h such that: $15 \leq D_h \leq 40$. The invention relates to an antidiabetic drug based on this long-acting insulin formulation and injectable using needles of gauge 29G, 30G or 31G.

Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
(21) N° d'enregistrement national :

2 873 040

04 51578

(51) Int Cl⁸ : A 61 K 38/28 (2006.01), A 61 K 9/10, 9/51, 47/42,
A 61 P 3/10

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 19.07.04.

(30) Priorité :

(71) Demandeur(s) : FLAMEL TECHNOLOGIES Société
anonyme — FR.

(43) Date de mise à la disposition du public de la
demande : 20.01.06 Bulletin 06/03.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : Ce dernier n'a pas été
établi à la date de publication de la demande.

(60) Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

(72) Inventeur(s) : CONSTANCIS ALAIN, NICOLAS
FLORENCE, MEYRUEIX REMI et SOULA OLIVIER.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : CABINET PLASSERAUD.

(54) FORMULATION COLLOIDALE D'INSULINE LONGUE ACTION ET SA PRÉPARATION.

(57) L'invention concerne des formulations d'insuline lon-
gue action injectables, pour le traitement des diabètes de
type I et II chez l'homme et l'animal.

L'objectif essentiel de l'invention est de fournir une for-
mulation injectable d'insuline longue action sous forme de
suspension colloïdale, qui soit stable, qui présente une bon-
ne tolérance locale et une toxicité compatibles avec le tra-
tement chronique des diabétiques et qui maintienne un effet
hypoglycémiant important s'étendant sur 24 heures au
moins, après une seule administration par exemple par voie
sous-cutanée. Pour atteindre cet objectif, l'invention a pour
objet une formulation colloïdale, aqueuse et stable de nano-
particules d'au moins un poly(Leu-bloc-Glu), chargées en
insuline, dans laquelle le pH est compris entre 5,8 et 7,0,
l'osmolarité O (en mOsmol) : $270 \leq O \leq 800$ et la viscosité v
(en mPa.s) est faible, à savoir $v \leq 40$. Les nanoparticules du
poly(Leu-bloc-Glu) ont un diamètre hydrodynamique moyen
 D_h tel que : $15 \leq D_h \leq 40$. L'invention concerne un médi-
cament anti-diabétique à base de cette formulation d'insuline
longue action et injectable sur aiguilles de gauge 29G, 30G
ou 31 G.

FR 2 873 040 - A1



**FORMULATION COLLOÏDALE D'INSULINE LONGUE ACTION ET SA
PRÉPARATION**

Le domaine de la présente invention est celui des médicaments à base d'insuline, en 5 particulier des formulations injectables d'insuline, pour le traitement des diabètes de type I et II chez l'homme et l'animal.

La présente invention concerne, plus précisément, des formulations injectables d'insuline formées par des suspensions colloïdales d'insuline destinées à une administration parentérale journalière et capables de maintenir durant tout le nycthémère chez le patient 10 ou l'animal diabétique, une concentration d'insuline sérique voisine de la concentration basale observée chez le sujet sain.

L'invention concerne, également, des procédés de préparation desdites suspensions colloïdales d'insuline.

15 Les diabétiques sont assujettis à un traitement très contraignant et imparfait, les obligeant à s'injecter de l'insuline plusieurs fois par jour. Outre les injections d'insuline à absorption rapide, destinées à corriger la montée de glycémie après ou au cours d'un repas, il est également nécessaire de maintenir l'insuline sérique au niveau basal jour et nuit afin d'éviter des effets secondaires très néfastes. Cette dernière correction est particulièrement 20 délicate car la nuit, les patients n'ont pas l'opportunité de se traiter et ainsi de rétablir le niveau souhaitable d'insuline.

Les formulations injectables d'insuline doivent être stables, à savoir que l'insuline qu'elles contiennent ne doit pas se dégrader au stockage. Elle doit par exemple être toujours 25 pleinement efficace au terme d'un stockage de 2 ans à 5°C. Les formulations injectables d'insuline doivent avoir une rhéologie adaptée aux systèmes d'injection couramment utilisés pour l'insuline. Il existe donc un besoin aigu d'une formulation d'insuline longue action, d'une part, injectable au travers de très fines aiguilles et stable. Le problème de la mise au point d'une telle formulation est connu depuis longtemps et a fait l'objet de nombreux travaux.

30 Au sens du présent exposé, "insuline" désigne aussi bien l'insuline humaine ou une insuline animale ou encore un analogue de l'insuline.

Au sens du présent exposé, une « formulation d'insuline longue action » est une formulation permettant, d'une part, d'éviter, après administration, tout pic d'hypoglycémie néfaste pour le patient et, d'autre part, de maintenir une action hypoglycémiant sur 24 35 heures au moins.

ART ANTERIEUR

Il est fait ci-après état d'un certain nombre de propositions techniques antérieures pour des formulations d'insuline longue action.

5 Ainsi, on connaît par exemple l'insuline humaine longue action NPH. Il s'agit de suspensions partiellement micro-cristallisées de complexes insuline humaine / zinc / protamine (comme décrites par exemple dans US-B-5,834,422), qui permettent de ralentir la libération *in vivo* de la protéine. Dans ces suspensions, l'insuline est complexée à la protamine et au zinc pour former un précipité partiellement cristallisé. Après injection
10 sous-cutanée, la vitesse de libération de l'insuline est contrôlée par la cinétique de dissolution *in vivo* de ce précipité et la cinétique de décomplexation de l'insuline. La durée d'action de ce type d'insuline, bien que prolongée par rapport à celle d'une insuline rapide, ne dépasse pas 16 heures et ne couvre donc pas réellement le nycthémère. Par ailleurs, on observe un pic d'hypoglycémie, après administration de cette insuline humaine
15 longue action NPH. Cette dernière n'est donc pas une véritable insuline longue action telle que définie ci-dessus.

Récemment, le brevet US-B-5,656,722 décrit une nouvelle structure de protéine analogue à l'insuline dénommée GLARGINE® incluse dans une formulation.

20 Une voie totalement différente pour obtenir une forme à libération prolongée de protéine est divulguée dans le brevet US-B- 5 904 936 (EP-B-0 734 720). La technique proposée ne consiste ni à modifier chimiquement l'insuline, ni encore à complexer l'insuline avec la protamine et le zinc. Il s'agit plutôt d'adsorber l'insuline humaine sur des nanoparticules biocompatibles formées spontanément, par auto-assemblage dans l'eau de polyaminoacides amphiphiles tels que le poly(L-leucine-b-glutamate de sodium) -ci-après dénommé poly(Leu-bloc-Glu). Cet auto-assemblage conduit à une suspension colloïdale de nanoparticules. L'insuline humaine, lorsqu'elle est mise en présence d'une telle suspension colloïdale, s'adsorbe spontanément sur les particules pour former un complexe non covalent insuline/particule. Après injection sous-cutanée, l'insuline humaine se dissocie progressivement du complexe ce qui permet de maintenir sa concentration plasmatique à une valeur voisine de sa valeur basale pendant une durée prolongée. L'avantage de cette approche est de mettre en œuvre dans un procédé non dénaturant, de l'insuline humaine non modifiée et un polymère
30 biocompatible, sans faire appel à des tensioactifs potentiellement dénaturants.

35 Il est précisé dans l'exemple 14 du brevet US-B- 5 904 936 que l'insuline humaine s'associe spontanément à des nanoparticules de poly(Leu-bloc-Glu) jusqu'à un taux maximal de 0,65 mg d'insuline humaine pour 10 mg de poly(Leu-bloc-Glu) soit 6,5 %

massique. Cette formulation d'insuline longue action injectable selon l'exemple 14 du brevet US-B- 5 904 936 est perfectible s'agissant des points suivants:

- La formulation pourrait gagner en facilité d'injection, en particulier avec des seringues à aiguilles fines 29G, 30G ou 31G. L'inconfort en résultant pour le patient est d'autant plus pénalisant qu'il s'agit d'une injection quotidienne sur plusieurs dizaines d'années.
- La formulation pourrait gagner en stabilité pour retarder encore la dégradation de l'insuline.
- L'injection sous-cutanée de cette formulation chez le cochon peut parfois conduire à la formation d'érythèmes et d'oedèmes marqués, traduisant une tolérance locale susceptible d'être améliorée, ce qui rend cette formulation difficilement compatible avec une application pharmaceutique journalière sur une très longue durée.
- La formulation est difficilement stérilisable par filtration.

15 Dans son exemple 9, la demande WO-A-01/37809 décrit une formulation d'insuline longue action injectable, dont le pH est de 7,4 et qui comprend une suspension de nanoparticules de polymère poly(Leu-bloc-Glu). Cette suspension comprend (par ml de préparation): 80 UI d'insuline et 56 mg de polymère, soit un rapport massique insuline/poly(Leu-bloc-Glu) de 5%. Administrée chez le chien Beagle à raison de 2 UI/kg, 20 cette suspension donne lieu à une libération prolongée sur 24 heures environ. Cependant, cette formulation présente une stabilité perfectible comme démontrée dans l'exemple 5 infra de la présente demande.

25 Fort de cette expérience, la demanderesse a redéfini un cahier des charges pour une formulation d'insuline humaine longue action injectable:

1. La formulation gagnerait à être plus aisément injectable au travers d'une aiguille de petit diamètre (e.g. 29G, 30G ou 31G), afin d'améliorer le confort du patient, et ainsi l'observance du traitement.
2. La formulation d'insuline est perfectible s'agissant de sa stabilité notamment à 4°C et à température ambiante, pour ne pas induire des modifications des propriétés de la formulation ni des dégradations de l'insuline humaine.
3. La formulation serait grandement améliorée si elle était dotée d'une excellente tolérance locale, afin d'être compatible avec une injection journalière sur une durée de plusieurs dizaines d'années.
- 35 4. La biodisponibilité de l'insuline fournie par une telle formulation gagnerait à être aussi élevée que possible.

5. L'efficacité de la formulation, mesurée, par exemple, par son effet hypoglycémiant, gagnerait à être la plus élevée possible pendant au moins 24 heures, après l'injection.
6. La formulation gagnerait à avoir une rhéologie permettant un remplissage aisément de la seringue par le patient.
- 5 7. L'aptitude à la stérilisation par filtration serait un atout déterminant pour la formulation.

Devant cet état de fait, un objectif essentiel de la présente invention est donc de satisfaire pleinement le cahier des charges sus-décris.

10 Un autre objectif essentiel de l'invention est de fournir une formulation d'insuline longue action sous forme de suspension colloïdale, qui maintienne un effet hypoglycémiant important s'étendant sur 24 heures au moins, après une seule administration, par exemple par voie sous-cutanée.

15 Un autre objectif essentiel est de fournir une formulation d'insuline longue action sous forme de suspension colloïdale, qui soit stable et qui n'indue pas de modification de la structure et de la bioactivité de l'insuline.

Un autre objectif essentiel de la présente invention est de fournir une formulation d'insuline longue action aisément injectable au travers d'une aiguille de faible diamètre (par exemple de gauge 29G, 30G ou 31G).

20 Un autre objectif essentiel de l'invention est de fournir des formulations d'insuline longue action sous forme de suspensions colloïdales permettant un remplissage aisément d'une seringue au travers d'une aiguille de faible diamètre (par exemple de gauge 29G, 30G ou 31G).

25 Un autre objectif essentiel de l'invention est de fournir des formulations d'insuline longue action sous forme de suspensions colloïdales injectables à faible volume d'injection et concentration élevée en insuline humaine, typiquement 100 IU/ml, et ce sans nuire à l'efficacité thérapeutique et en particulier à la durée de l'effet hypoglycémiant.

30 Un autre objectif essentiel de la présente invention est de fournir une formulation d'insuline longue action sous forme de suspension colloïdale, présentant une bonne tolérance locale et une toxicité compatibles avec le traitement chronique des diabétiques.

Un autre objectif essentiel de l'invention est de fournir une formulation d'insuline longue action sous forme de suspension colloïdale, dans laquelle l'insuline est une insuline humaine non modifiée.

35 Un autre objectif essentiel de la présente invention est de fournir une formulation d'insuline longue action sous forme de suspension colloïdale comprenant des nanoparticules de poly(Leu-bloc-Glu) et qui soit filtrable sur des filtres de 0,2 µm à des fins de stérilisation.

Un autre objectif essentiel de la présente invention est de fournir une formulation d'insuline longue action sous forme de suspension colloïdale comprenant des nanoparticules de poly(Leu-bloc-Glu) sur lesquelles les protéines sont adsorbées de façon réversible, non covalente et sans dénaturation.

5 Un autre objectif essentiel de l'invention est de fournir une suspension colloïdale d'insuline sous forme liquide ou sèche, qui conduise à une formulation satisfaisant aux spécifications visées ci-dessus et qui constitue une forme galénique appropriée et convenable pour une administration sous-cutanée.

10 Un autre objectif essentiel de l'invention est de proposer un procédé de préparation de ces suspensions colloïdales d'insuline longue action, ledit procédé se devant d'être, simple à mettre en œuvre, non dénaturant pour la protéine et devant en outre toujours assurer de façon fiable la reproductibilité des caractéristiques de la formulation.

15 Les objectifs ci-dessus, parmi d'autres, sont atteints par la présente invention qui concerne, tout d'abord, une formulation injectable d'insuline longue action comprenant une suspension colloïdale, aqueuse et stable de nanoparticules d'au moins un poly(L-leucine-b-L glutamate de sodium) –ci-après dénommé poly(Leu-bloc-Glu), chargées en insuline, caractérisée en ce que :

I– le pH de la formulation est tel que :

20 $5,8 \leq \text{pH} \leq 7,0$
de préférence, $6,0 \leq \text{pH} \leq 7,0$

II– l'osmolarité O (en mOsmol) de la formulation est telle que :

25 $250 \leq O \leq 800$
de préférence, $250 \leq O \leq 600$
et plus préférentiellement encore $270 \leq O \leq 400$

III– la viscosité v (en mPa.s) de la formulation mesurée selon un mode opératoire Mv est faible, à savoir telle que:

30 $v \leq 40$
de préférence $v \leq 25$
et plus préférentiellement encore $v \leq 20$

35 Le fondement inventif de cette nouvelle suspension colloïdale apte à constituer une formulation galénique injectable d'insuline longue action, réside, notamment, dans la combinaison de paramètres I, II & III sélectionnés dans les fenêtres suivantes:

- une fenêtre de pH contribuant à la bonne stabilité de la suspension formant la formulation injectable d'insuline longue action selon l'invention,

- une fenêtre d'osmolarité qui assure notamment une bonne tolérance locale et une bonne aptitude à la filtration stérilisante pour la formulation,
- et une fenêtre de viscosité qui participe à l'instauration dans la formulation de propriétés rhéologiques telles qu'il est possible de remplir aisément une seringue en aspirant la formulation au travers d'une aiguille de faible diamètre (par exemple de gauge 29G, 30G ou 31G).

5

Un autre atout de cette nouvelle formulation est son coût raisonnable.

Enfin et surtout cette combinaison non évidente des paramètres sélectionnés I, II & III, 10 confère à la formulation des propriétés rhéologiques telles qu'il est possible de l'injecter aisément au travers d'une aiguille de faible diamètre (par exemple de gauge 29G, 30G ou 31G).

Par ailleurs, la formulation selon l'invention possède de préférence au moins l'une 15 (idéalement toutes) les caractéristiques suivantes :

- a. L'osmolarité O de la formulation est ajustée à l'aide d'au moins un sel monovalent ou multivalent (par exemple di ou trivalent).
- b. La concentration en poly(Leu-bloc-Glu) est inférieure à 60 mg/ml, de préférence comprise entre 10 et 55 mg/ml et, de préférence encore, comprise entre 30 et 20 55 mg/ml.
- c. Les particules du poly(Leu-bloc-Glu) retenu ont un diamètre hydrodynamique moyen Dh exprimé en nanomètres (nm) et mesuré selon un mode opératoire Md, 25 tel que :

$$10 \leq Dh \leq 150$$

de préférence, $20 \leq Dh \leq 100$

- d. Le rapport massique insuline/poly(Leu-bloc-Glu), exprimé en %, est tel que :
30 $3 \leq \text{insuline/poly(Leu-bloc-Glu)}$,
de préférence, $5 \leq \text{insuline/poly(Leu-bloc-Glu)} \leq 11$.

- e. Le taux maximal de chargement Ta des nanoparticules avec l'insuline, exprimé en % de masse d'insuline associée par rapport à la masse de poly(Leu-bloc-Glu et 35 mesuré selon un mode opératoire Ma, est tel que :

$$10 \leq Ta$$

de préférence, $10 \leq Ta \leq 40$

et, plus préférentiellement encore, $12 \leq Ta \leq 25$.

f. L'insuline est une insuline humaine non modifiée.

Finalement, la formulation injectable d'insuline longue action selon l'invention est dotée des propriétés essentielles suivantes:

- 5 ♦ une bonne aptitude au remplissage d'une seringue par aspiration au travers d'une aiguille de faible diamètre;
- ♦ une "injectabilité" aisée au travers d'une aiguille de faible diamètre, ce qui améliore considérablement le confort du patient et accroît donc l'observance du traitement;
- 10 ♦ une excellente stabilité;
- ♦ une bonne tolérance locale;
- ♦ une activité hypoglycémiant étendue sur 24 heures après administration chez l'homme d'une dose standard de 0,6 UI/kg;
- ♦ une aptitude à la filtration stérilisante sur 0,2 micron, grâce à la petite taille des
- 15 particules.

Cette suspension présente en outre la propriété de présenter un faible rapport massique polymère/insuline conduisant à un surcoût limité en polymère.

- d'une gamme de taille de particules qui assure une bonne tolérance locale et une bonne aptitude à la filtration stérilisante;
- 20 - d'une gamme de concentration en polymère bLE qui permet d'une part de maintenir la durée de l'effet hypoglycémiant sur 24 heures au moins, tout en permettant une injection aisée.

25

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

La sélection de ces paramètres pour obtenir une suspension colloïdale d'insuline adaptée en tant que formulation médicamenteuse injectable d'insuline longue action, est le fruit 30 d'importantes et longues recherches sur la mesure et la comparaison des activités pharmacocinétiques et pharmacodynamiques de ces formulations d'insuline sur divers modèles animaux ainsi que de nombreux travaux sur "l'injectabilité", la stabilité, la tolérance et la biocompatibilité de cette suspension particulière, ainsi que sur son caractère injectable, et son aptitude à être aspirée au travers d'une aiguille .

35

La suspension colloïdale stable formant la formulation comporte des nanoparticules structurées submicroniques, constituées par auto assemblage d'un copolymère poly(Leu-bloc-Glu).

Elles sont aptes :

- o à associer (adsorber) spontanément l'insuline, de façon non covalente, en suspension colloïdale, à l'état non dissous et sans dénaturation, pour former un complexe nanoparticule/insuline,
- 5 o et à libérer celle-ci, notamment *in vivo*, de manière prolongée et/ou retardée.

Enfin, elles sont stables en phase aqueuse en l'absence de tensioactif(s).

La suspension colloïdale de nanoparticules selon l'invention résulte d'une sélection particulière parmi celles décrites de manière générale dans le WO-A-01/37809. Cette 10 sélection particulière a été trouvée après de nombreux essais visant à optimiser les exigences contradictoires du cahier des charges mentionné supra.

Les inventeurs ont dû conduire de longs et de nombreux essais pour procéder à la sélection particulière de paramètres permettant de mettre au point une formulation, à savoir une 15 suspension remplissant le cahier des charges susvisé.

L'optimisation de la stabilité de la suspension passe par un ajustement du pH de la suspension entre 5,8 et 7,0, de préférence entre 6,0 et 7,0 et, plus préférentiellement encore inférieur à 7,4. La stabilité dont il est question est, d'une part, une stabilité 20 physicochimique de la suspension colloïdale de nanoparticules de poly(Leu-Bloc-Glu) et, d'autre part, une stabilité de l'actif insulinique en termes d'efficacité thérapeutique (contrôle de la glycémie). Avantageusement la formulation reste stable après un stockage de 2 ans à 5 °C, par exemple.

25 L'aptitude remarquable de la formulation de l'invention à être facilement injectable au travers d'une aiguille de petit diamètre (par exemple gauge 29G, 30G & 31G ou diamètre : 0,15 à 0,4 mm, longueur : 8 à 20 mm) est appréciée notamment au travers de la force à exercer sur le piston de la seringue. Il est par exemple souhaitable que cette force n'excède pas une valeur raisonnable, e.g. de l'ordre de 40 newtons, de préférence de l'ordre de 30 30 Newtons, et que le débit ne soit pas inférieur ou égal à 1ml/min. De façon surprenante, la viscosité mesurée à bas gradient de cisaillement (mesurée selon le mode opératoire M_v décrit ci-après) ne contrôle pas totalement la force nécessaire pour injecter la suspension colloïdale au travers d'une aiguille de faible diamètre. Il est du mérite de la Demanderesse d'avoir montré que la force à appliquer pour l'injection est d'autant plus faible que la 35 concentration en poly(Leu-bloc-Glu) est basse. Idéalement, la concentration en poly(Leu-bloc-Glu) peut être ajustée, conformément à l'invention, afin d'optimiser le compromis entre la durée d'action et le caractère injectable de la suspension. Cet optimum est obtenu

pour une concentration en polymère comprise entre 10 et 60 mg/ml, de préférence entre 20 et 55 mg/ml.

La possibilité de remplir aisément la seringue par aspiration de la formulation au travers 5 d'aiguilles de petit diamètre (par exemple gauge 29G, 30G & 31G ou diamètre : 0,15 à 0,4 mm, longueur : 8 à 20 mm) est également une caractéristique visée. Cette opération doit, par exemple, être typiquement réalisée dans un temps = 120 s, de préférence = 60 s et plus préférentiellement encore = 30 s, pour un volume de 500 μ l.

Il est du mérite des inventeurs d'avoir établi que, contrairement à ce qui a été montré 10 s'agissant de "l'injectabilité" de la formulation formée par une suspension colloïdale de nanoparticules, la capacité de cette formulation à permettre un remplissage rapide d'une seringue, dépend de façon importante de la viscosité (mesurée selon le mode opératoire Mv décrit infra) de la suspension. Un remplissage rapide satisfaisant les conditions énoncées ci dessus, est obtenu lorsque la viscosité v (mesurée selon le mode opératoire 15 Mv décrit infra) est \leq à 40 mPa.s, de préférence \leq 25 mPa.s et, plus préférentiellement encore \leq 20mPa.s, voire en pratique \leq 15 mPa.s, par exemple.

Mode Opératoire Mv

Conformément à la présente invention, la détermination du paramètre important qu'est la 20 viscosité v (en mPa.s à 20°C) peut être réalisée, par exemple, à 20°C à l'aide d'un rhéomètre AR1000 (TA Instruments) équipé d'une géométrie cône-plan (4 cm, 2°). La viscosité v est mesurée pour un gradient de cisaillement de 10 s⁻¹.

Un autre mérite des inventeurs est d'avoir trouver un moyen de réduction de la 25 viscosité, par ajustement de l'osmolarité O (en mOsm) de la suspension à une valeur comprise entre 270 et 800, de préférence entre 270 et 600 et plus préférentiellement encore entre 270 et 400.

De préférence, cet ajustement de l'osmolarité est effectué par ajout d'au moins un sel, et plus spécialement d'un ou plusieurs sels monovalents et/ou multivalents (e.g. divalents ou 30 trivalents), plutôt que par ajout de molécules neutres comme le glycérol, le saccharose ou autres molécules polyhydroxylées. Ces sels peuvent être, par exemple, choisis dans les familles suivantes : chlorure de sodium, chlorure de potassium, chlorure de zinc, mono ou dihydrogénophosphate de sodium ou de potassium, chlorure de magnésium ou de calcium, citrate de sodium, dihydrogénophosphate de potassium, sulfate de sodium, sulfate de 35 potassium ou tout autre sel connu de l'homme de l'art et apte à être injecté par voie sous cutanée.

Suivant une caractéristique remarquable de l'invention, les sels multivalents sont des candidats privilégiés pour l'ajustement de l'osmolarité, étant donné qu'ils ont un effet fluidifiant plus marqué que les sels monovalents.

5 Avantageusement, ces sels multivalents sont par exemple sélectionnés dans le groupe comprenant: le chlorure de zinc, le chlorure de magnésium, le chlorure de calcium, le phosphate disodique, le citrate de sodium, le citrate de potassium, le sulfate de sodium ou le sulfate de potassium et leurs mélanges.

10 Conformément à l'invention, les nanoparticules ont une petite taille et présentent plus précisément un diamètre hydrodynamique Dh, mesuré selon le mode opératoire Md, tel que (en nm) dans l'ordre croissant de préférence : $10 \leq Dh \leq 150$; $10 \leq Dh \leq 100$; $20 \leq Dh \leq 100$; $10 \leq Dh \leq 50$, $15 \leq Dh \leq 40$.
L'une des incidences parmi d'autres de ces choix de taille de particules de poly(Leu-bloc-15 Glu) est que la formulation selon l'invention est aisément filtrable sur un filtre stérilisant de $0,2 \mu\text{m}$ de taille de pores, ce qui permet d'obtenir, aisément et à moindre coût, une formulation injectable stérile. Par ailleurs, il apparaît que de façon surprenante, la tolérance locale de ces particules est meilleure que celle de plus grande taille, comme démontré ci-après dans les exemples.

20

Mode opératoire Md :

La poudre pulvérulente de poly(Leu-bloc-Glu) est mise en suspension dans l'eau à une concentration d'environ 50 g/l et est laissée à agiter une nuit à 25°C. Elle est ensuite diluée à l'aide d'une solution aqueuse de chlorure de sodium 0,15 M, de façon à obtenir au final une concentration en poly(Leu-bloc-Glu) comprise entre 0,01 et 0,5 g/l et, de préférence, égale à 0,2 g/l. Cette suspension est agitée 1 heure, puis introduite dans la cellule de diffusion d'un appareil de diffusion de la lumière, de type Brookhaven, fonctionnant avec un faisceau laser de longueur d'onde 488 nm et polarisé verticalement.
25 Le diamètre hydrodynamique est calculé à partir de la fonction d'autocorrélation du champ électrique par la méthode des cumulants, comme décrit dans l'ouvrage « Surfactant Science Series » volume 22, Surfactant Solutions, Ed. R. Zana, chap. 3, M. Dekker, 1984.
30

35 Suivant une autre caractéristique préférée, les poly(Leu-bloc-Glu) sélectionnés conformément à l'invention, présentent la caractéristique suivante :
le taux maximal de chargement Ta des nanoparticules avec l'insuline, exprimé en % de masse d'insuline associée par rapport à la masse poly(Leu-bloc-Glu) et mesuré selon un mode opératoire Ma, est tel que : $10 \leq Ta$

de préférence, $10 \leq T_a \leq 40$
 et, plus préférentiellement encore, $12 \leq T_a \leq 25$.

Mode opératoire Ma :

5 (a) Préparation de solutions aqueuses d'insuline : de l'insuline recombinante humaine lyophilisée est versée dans un volume V de solution d'acide chlorhydrique 0.01 N durant au maximum 15 min. Cette solution est ensuite versée dans un même volume V de solution NaOH 0.01 N. Le pH est ajusté entre 7.2 et 7.4 avec une solution de soude 1 N. La solution est agitée doucement pendant 30 min. La masse d'insuline et le volume V sont calculés en fonction du volume V' souhaité de solution finale afin 10 d'obtenir des concentrations en insuline de 100 UI/ml, 120 UI/ml et 140 UI/ml.

15 (b) Préparation de la formulation d'insuline. Le poly(Leu-bloc-Glu) lyophilisé est ajouté aux solutions d'insuline à raison de 11 mg/ml. Ces mélanges sont dégazés puis placés dans un agitateur à basculement à 25°C pendant 2 heures puis dégazés de nouveau. Le pH est ajusté entre 7.2 et 7.4 avec une solution HCl 1N et les mélanges sont agités (agitateur à basculement) pendant une nuit à température ambiante.

20 (c) Dosage de l'insuline libre : les formulations sont injectées sur une colonne de chromatographie liquide d'exclusion stérique dans des conditions non dissociantes et l'insuline libre est dosée par fluorimétrie.

25 Suivant une variante avantageuse, l'insuline associée aux nanoparticules dans la suspension constituant la formulation de l'invention est une insuline non modifiée. Au sens de l'invention, une insuline non modifiée est une insuline recombinante ou non, n'ayant subi aucune transformation de sa structure primaire, ni aucune modification des groupements latéraux des acides aminés.

30 Avantageusement, la suspension constituant la formulation de l'invention comprend au moins un conservateur, de préférence sélectionné dans le groupe comprenant : les phénols, les crésols (e.g méta-crésol), le parahydroxybenzoate de méthyle, de propyle, de butyle, ou tout autre conservateur connu de l'homme de l'art (consulter par exemple l'article de L.A. Gatlin et al. in *Injectable Drug Development*, P.K.Gupta eds Interpharm Press, Denver Colorado, 1999), et leurs mélanges.

35 Le procédé de synthèse du poly(Leu-bloc-Glu) ainsi que le procédé d'obtention des nanoparticules de poly(Leu-bloc-Glu) en suspension aqueuse s'effectuent, de préférence, selon les modalités et les recommandations décrites dans le WO-A-01/37809.

Au lieu d'être en suspension stable en milieu liquide aqueux, les nanoparticules de poly(Leu-bloc-Glu) chargées en insuline pourraient également exister dans un état solide stable, de préférence sous forme pulvérulente. Ainsi, la présente invention concerne également un solide -de préférence pulvérulent-, caractérisé en ce qu'il comprend des

5 nanoparticules de poly(Leu-bloc-Glu) chargées en insuline et en ce qu'il est obtenu à partir de la suspension liquide qui est définie ci-dessus et qui constitue la formulation de l'invention. Cette obtention est effectuée par tout moyen connu et approprié tel que la lyophilisation, l'atomisation ou le séchage.

10 Le procédé de préparation de la formulation liquide injectable d'insuline longue action fait intervenir du poly(Leu-bloc-Glu) non chargé en insuline et consiste essentiellement à mettre en suspension, en milieu liquide aqueux, au moins un poly(Leu-bloc-Glu) et de l'insuline, de préférence sous agitation, à ajouter éventuellement des excipients, au besoin à ajuster le pH à une valeur comprise entre 5,8 et 7,0 et, éventuellement à filtrer sur des

15 pores de taille 0,2 µm la suspension ainsi obtenue.

Pour effectuer l'association de l'insuline aux nanoparticules, il est possible de mettre en œuvre plusieurs méthodes, dont des exemples non limitatifs sont donnés ci-après.

Selon une première méthode, on effectue l'association de l'insuline aux particules par

20 mise en présence d'une phase aqueuse contenant l'insuline avec la suspension colloïdale de nanoparticules de poly(Leu-bloc-Glu). De façon plus précise : une suspension de nanoparticules à pH neutre et isotonique est reconstituée à une concentration de 60 mg/ml ou plus (selon la concentration voulue dans la suspension finale). Une solution d'insuline concentrée (typiquement entre 500 et 600 UI/ml – pH compris entre 7 et 8 - isotonique) est

25 alors préparée extemporanément à partir de poudre d'insuline (dissolution en milieu acide puis neutralisation). Les deux solutions sont mélangées par agitation pendant quelques minutes et cette phase est éventuellement suivie d'une phase de « maturation » de quelques heures. Le pH est ensuite ajusté à une valeur comprise entre 5,8 et 7,0.

Selon une deuxième méthode, il s'agit essentiellement de mettre en présence (en les

30 mélangeant) le poly(Leu-bloc-Glu) à l'état pulvérulent avec une phase aqueuse contenant l'insuline e.g. à une concentration entre 100 et 200 UI/ml.

Il importe de veiller au respect de l'une des caractéristiques essentielles de l'invention, à savoir l'établissement d'un pH compris entre 5,8 et 7,0, de préférence entre 6,0 et 7,0. Ce

35 facteur participe de façon importante à la stabilité et à la tolérance locale de la suspension de nanoparticules de poly(Leu-bloc-Glu). L'ajustement du pH peut s'effectuer par tout moyen connu et approprié, à savoir notamment par acidification, par exemple, de la façon suivante :

- 1- ajout d'acide chlorhydrique 0,1N dans la suspension chargée d'insuline (il se produit alors une précipitation intermédiaire qui disparaît au bout d'une heure d'agitation environ)
- 2- ajout d'acide acétique 0,1N dans la suspension chargée d'insuline (pas de précipitation intermédiaire)

5 L'ajout -2- d'acide acétique est préféré.

10 Lors de la préparation de la formulation selon l'invention, on peut éventuellement ajouter des excipients, et au besoin réajuster le pH à une valeur comprise entre 5,8 et 7,0, et, éventuellement stériliser la suspension ainsi obtenue par filtration sur des pores de 0,2 microns.

15 Ces autres excipients peuvent être notamment au moins un conservateur, de préférence sélectionné dans le groupe comprenant : les phénols, les crésols (e.g méta-crésol), les parahydroxybenzoates de méthyle, de propyle, ou de butyle, ou tout autre conservateur connu de l'homme de l'art (consulter par exemple l'article de L.A. Gatlin et al. in *Injectable Drug Development*, P.K.Gupta eds Interpharm Press, Denver Colorado, 1999), et leurs mélanges.

20 Les conditions de mélange aussi bien pour la régulation du pH que pour l'addition d'excipients, sont classiques et à la portée de l'homme du métier notamment en termes de température, pression et agitation.

25 Finalement, la suspension liquide peut être transformée en un solide pulvérulent par toute méthode classique connue de l'homme de l'art, telle que par exemple la lyophilisation, l'atomisation ou le séchage.

30 Selon un autre de ses aspects, l'invention concerne les applications pharmaceutiques et vétérinaires de la suspension poly(Leu-bloc-Glu)-insuline. L'application essentielle est le traitement du diabète, et plus précisément du diabète de type I et II.

35 Ainsi, l'invention a également pour objet un médicament caractérisé en ce qu'il comprend de la formulation comprenant une suspension colloïdale poly(Leu-bloc-Glu)-insuline, cette formulation étant telle que définie ci-dessus et/ou de la formulation obtenue par le procédé lui aussi décrit supra et/ou du solide pulvérulent tel défini ci-dessus.

Il s'agit de préférence d'un médicament destiné au traitement du diabète et plus précisément du diabète de type I et II.

Suivant une disposition avantageuse de l'invention, le médicament qu'elle concerne est assimilable à une formulation liquide injectable d'insuline humaine longue action susceptible d'assurer au patient diabétique, après une injection sous-cutanée, une concentration basale en insuline, pendant au moins 24 heures, en régime d'injections 5 répétées.

La concentration basale d'insuline doit s'entendre dans le présent exposé comme une concentration typique dans le sang observée chez l'individu sain, soit 30 picomoles/l.

10 L'invention concerne en outre une méthode de traitement du diabète, en particulier du diabète de type I et II, caractérisée en ce qu'elle consiste essentiellement à administrer au patient le médicament susvisé à base d'une formulation comprenant une suspension colloïdale aqueuse stable de nanoparticules de poly(Leu-bloc-Glu) chargées en insuline, de préférence non modifiée.

15 Il s'agit préférentiellement d'une administration journalière par injection de préférence sous-cutanée.

20 Le médicament selon l'invention peut également se présenter sous la forme d'un solide pulvérulent décrit ci-avant et, éventuellement du liquide aqueux pour la préparation de la suspension.

Il en résulte que l'invention couvre également une présentation galénique comprenant, d'une part, du solide pulvérulent tel que défini supra et, d'autre part, de manière séparée, du liquide aqueux pour la reconstitution, avant l'administration, de la suspension 25 constituante la formulation selon l'invention.

30 Les exemples qui suivent permettront de mieux comprendre l'invention dans ses différents aspects produit/procédé/application. Ces exemples illustrent la préparation de la formulation selon l'invention à base de suspension de nanoparticules de poly(Leu-bloc-Glu) chargées en insuline, de même qu'ils présentent les caractéristiques de structure et les propriétés de cette formulation, en la comparant avec des formulations poly(Leu-bloc-Glu)-insuline selon l'art antérieur.

EXEMPLES

Exemple 1 - Synthèse d'un poly(Leu-bloc-Glu) 25/35 dibloc

5 Dans un réacteur de 0,5 litre thermostaté à 30°C, on introduit sous agitation 38,9 g de NCA-GluOMe (0,208 mole) et 156 g de N-Méthyl Pyrrolidine-one-2 (NMP). Après dissolution, on ajoute 5,78 g d'une solution d'ammoniac 0,452 M dans le méthanol (1,25 % molaire/NCA). La polymérisation est suivie par mesure de dioxyde de carbone dégagé dans une cloche à gaz et vérifiée par disparition des bandes de vibration caractéristiques des NCA à 1860 et 1790 cm⁻¹. Après 30 min, on introduit une solution de 23,3 g de NCA Leucine (0,149 mole) dans 5 219 g de NMP. Après 10 min de réaction, la température est augmentée à 60°C. La polymérisation est suivie comme précédemment. Elle est complète après 1-2 heures. La température du mélange réactionnel obtenu précédemment est augmentée à 80°C. 42,0 g d'acide chlorhydrique aqueux (35 % de la masse) sont ajoutés 10 au milieu réactionnel sous agitation mécanique en 30 min. Le réacteur est alors mis sous pression réduite régulée à 600 mBar pendant 6 heures. Un mélange de 42,0 g d'acide chlorhydrique 35 % et de 167,9 g d'eau est alors ajouté sur 60 min, suivi d'une deuxième phase de vide à 250 Mbar pendant 18 heures. Le mélange réactionnel est ensuite refroidi à 15 50°C, puis neutralisé par la soude aqueuse (35% de la masse). La NMP et le chlorure de sodium formés lors de la neutralisation, sont éliminés par diafiltration contre 20 volumes 20 d'eau Milli Q, sur membrane de MWCO de 1000 Daltons (système Pellicon II, Millipore). On obtient une suspension colloïdale aqueuse stable de nanoparticules de vectorisation. La suspension de nanoparticules est finalement lyophilisée.
25 Les teneurs en motifs leucine sont déterminées par résonance magnétique nucléaire du proton (signaux à 2,10, 2,22 et 2,58 ppm pour 4H du Glu et à 0,85 ppm pour 6H du Leu).

Exemple 2 - Synthèse d'un poly(Leu-bloc-Glu) 25/70 dibloc

30 146,4 g de NCA GluOMe sont dissous dans 586 g de NMP auxquels sont ajoutés 18,43 g d'une solution d'ammoniac 0,48 M dans le méthanol. Lorsque la polymérisation des NCA GluOMe est complète, une solution de 43,9 g de NCA Leu dans 708 g de NMP est introduite et la polymérisation des NCA Leu est poursuivie jusqu'à disparition des monomères. Le milieu est alors porté à 80°C et on y ajoute, en goutte à goutte, durant 30 35 min à 1 heure, 129,4 g d'HCl 35 %. Un vide de 600 mBar est appliqué pendant 6 heures, puis 129,4 g d'HCl 35 % supplémentaires sont ajoutés en mélange avec 517,5 g d'eau. Un vide de 250 mBar est alors appliqué pendant 18 heures. Après cette étape, la température est réduite à 50°C, 1 litre d'eau est introduit, suivi de 280 ml de NaOH 35 % pour ramener

le pH à 7,4. La suspension est ensuite filtrée (5 µm), dialysée (seuil de coupure 1 000 Da) dans de l'eau, pour éliminer le solvant et les sels, et enfin filtrée (0,22 µm). Cette suspension peut être utilisée directement ou subir des traitements ultérieurs, tels que la distillation de l'eau ou la lyophilisation

5

Exemple 3 – Préparation d'une suspensions d'insuline longue action selon l'invention

3.1- préparation d'une suspension colloïdale de nanoparticules de poly(L leucine bloc

10 L glutamate de sodium) (P) intermédiaire concentrée à 60 mg/g :

La préparation de la suspension est faite sous hotte à flux laminaire ou en pièce stérile.

Dans un flacon de verre de 3 l, on introduit successivement 50 g de polymère poly(Leu-bloc-Glu) selon l'exemple 2 sous forme lyophilisée (contenant 1 % d'eau environ) et 757 g d'eau PPI (préparation pour injectable). La suspension est agitée de manière énergique à

15 l'aide d'un barreau magnétique pendant au moins 12 heures. Un vide limité (50-100 mbar) est réalisé dans le flacon. 10,6 g de NaCl 30% et 6,7 g de NaOH 1N sont ajoutés à la solution pour ajuster le pH à 7,2 et l'osmolarité à 300 mOsm et régler la concentration en polymère à 60 mg/ml.

20 3.2- préparation d'une solution d'insuline intermédiaire à 590 UI/ml :

4,5 g d'insuline humaine recombinante (poudre) d'activité 28,4 UI/g et contenant 7,7% d'humidité sont introduits dans un flacon en verre, 181 g d'eau sont rajoutés et l'insuline est dispersée sous agitation magnétique lente. 4,0 g d'HCl 1N sont ajoutés jusqu'à obtention d'une solution limpide d'insuline acide. 5,6 g de soude 1N sont alors ajoutés de façon à obtenir une solution finale ayant un pH compris entre 7 et 8. 6,1 g de NaCl 30% sont ajoutés pour ajuster l'osmolarité.

La solution est filtrée sur membrane polyéthersulfone 0,2µm avant mélange avec la suspension de NPs.

30 3.3 - préparation d'une solution d'excipients (phénol 140 mM ; m-crésol 140 mM, acide acétique 0,1N) :

Dans un flacon de 1 l on rajoute successivement :

- 13,2 g de phénol (M=94 g/mol)
- 100 g d'eau
- 15,1 g de m-crésol (M=108 g/mol)
- 100 g d'acide acétique 1N
- 771,7 g d'eau.

La solution est agitée au moins une demi-heure jusqu'à obtention d'une solution limpide puis filtrée sur membrane 0.2 μm PVDF ou PTFE.

3.4- préparation d'une suspension colloïdale d'insuline longue action A :

5 (Osmolarité O = 300 mOsm; pH=6.5; Concentration en poly(Leu-bloc-Glu) Cpol = 42 mg/ml; Concentration en insuline C insulin = 3.5 mg/ml)
800 g de suspension P sont introduits dans un flacon de 1 litre.
Sous agitation magnétique lente, 196 g de solution à 590 UI/ml d'insuline sont rajoutés.
L'agitation est maintenue pendant $\frac{1}{4}$ heure puis le mélange est laissé au repos à 25°C
10 pendant une nuit. 171 g de solution d'excipients sont alors rajoutés au mélange et la solution est laissée à agiter pendant 4 heures. La formulation ainsi obtenue est filtrée sur membrane polyéthersulfone 0,2 μm .

15 **Exemple 4 – Viscosités et diamètres hydrodynamiques de la suspension d'insuline longue action A selon l'invention**

Les mesures de viscosité sont réalisées à 20°C sur un rhéomètre AR1000 (TA Instruments) équipé d'une géométrie cône-plan (4cm, 2°). La viscosité est mesurée pour
20 un gradient de cisaillement de 10 s^{-1} .

On trouve une viscosité de 25 mPa.s.

Le diamètre hydrodynamique des particules des suspensions H, M et L , mesuré selon le mode opératoire Md., est de 35 nm.

25

Exemple 5 - Stabilités comparées des suspensions d'insuline longue action à différents pH

Une première suspension pharmaceutique M d'insuline, contenant :

30 • 100 UI/ml d'insuline recombinante humaine
• 42 mg/ml du polymère poly(Leu-bloc-Glu) selon l'exemple 1
• 21 mM de phénol et de méta-crésol

est préparée selon l'exemple 3 ci-dessus. Son pH est ajusté à pH 6,5 +0,1 et son osmolarité est de 300+-20 mOsmol.

35

Une deuxième suspension pharmaceutique comparative, Comp1, d'insuline longue action, identique à la composition M est préparée de la même façon. Mais à la différence de la suspension selon l'invention, son pH est ajusté à 7,2 +/-0,1. L'osmolarité O est également de 300 +/-20 mOsmol.

5 Les suspensions pharmaceutiques M et Comp1 sont mises en stabilité accélérée à 37°C. Le suivi de stabilité est effectué en mesurant en fonction du temps le pH, l'osmolarité, le diamètre hydrodynamique des nanoparticules chargées en insuline et la quantité d'insuline non dénaturée dans chacune des préparations A et B.

10 Afin de doser l'insuline dans les préparations M et Comp1, 0,1 ml de préparation sont dissous dans 2 ml d'acide trifluoroacétique (TFA). La solution est ensuite injectée dans une colonne C8 Biobasic® pour analyse HPLC de la protéine. On parvient ainsi à doser l'insuline non dénaturée dans la préparation. La péremption de la préparation est atteinte lorsque le taux d'insuline non dénaturée descend en dessous de 95%.

15 Pour les deux préparations M et Comp1, le pH, l'osmolarité et le diamètre des nanoparticules sont stables comme le montre le tableau ci-dessous :

20 Le tableau 1 ci-après montre l'évolution du pH, de l'osmolarité et du diamètre hydrodynamique des particules et du % d'insuline humaine non dénaturée pour les formulations M (pH 6,5) et Comp 1 (pH 7,4).

TABLEAU 1

Temps(jour)	0	7	21
pH			
M	6,5	6,3	6,5
Comp1	7,2	7,3	7,2
Osmolarité O (mOsmol)			
M	303	301	305
Comp1	297	302	301
Diamètre hydrodynamique (nm)			
M	36	34	35
Comp1	35	35	34
% insuline non dénaturée			
M	100	98	96
Comp1	100	95	86

On constate que la suspension M selon l'invention maintenue à pH 6,5 présente, dans ces conditions de test accéléré, une excellente stabilité puisque 95% de l'insuline est encore non dénaturée après 21 jours. En revanche, pour la formulation Comp1 à pH 7,2, la quantité d'insuline non dénaturée descend au-dessous de 95% dès $t = 7$ jours. Ainsi, de 5 façon surprenante, la stabilité de l'insuline dans les préparations d'insuline longue action selon la présente invention, est remarquablement bonne à pH légèrement acide.

10 **Exemple 6 - Comparaison de la tolérance locale d'une suspension d'insuline longue action selon l'invention et d'une suspension d'insuline longue action à base d'un poly(Leu-bloc-Glu) selon WO-A-01/37809 et n'appartenant pas à la sélection selon l'invention**

15 Une étude a été réalisée de manière à comparer la tolérance locale de la suspension H selon l'invention, correspondant à l'exemple 3 ci-dessus et d'une formulation à pH neutre d'un poly(Leu-bloc-Glu) n'appartenant pas à la sélection selon l'invention.

La suspension M selon l'invention comprend:

20

- 100 UI/ml d'insuline recombinante humaine
- 42 mg/ml du polymère poly(Leu-bloc-Glu) selon l'exemple 3
- 21 mM de phénol et de métacrésol

et est préparée selon l'exemple 3 ci-dessus. Son pH est ajusté à pH 6,5 +0,1.

25 Une suspension Comp2 comparative, n'appartenant pas à l'invention, est préparée à partir d'un copolyaminoacide poly(Leu-bloc-Glu) selon le WO-A-01/37809. Elle comprend :

- 100 UI/ml d'insuline recombinante humaine
- 100 mg/ml d'un poly(L leucine bloc L glutamate de sodium) formé de 40 unité de leucine et de 60 unités de glutamate de sodium. Le diamètre hydrodynamique des particules est de 80 nm.

30 Cette formulation Comp2 est préparée selon le mode opératoire décrit dans l'exemple 3 ci-dessus. Son pH est ajusté à pH 7,4 +0,1.

35 Les suspensions M et Comp2 ci-dessus et une solution de NaCl 0.9 % (référence négative) ont été injectées en sous-cutané, sous un volume de 0,50 ml, sur la peau du ventre de 9 porcs domestiques.

Les signes cliniques – érythème et œdème – ont été évalués durant les trois jours qui suivent l'injection.

La référence négative (NaCl) n'a pas provoqué de réaction clinique.

La préparation Comp2 a provoqué une réaction locale allant en augmentant jusqu'à 24 heures. A ce stade, elle se caractérise par un érythème et un œdème cotés modéré à marqué. La réaction disparaît en 3 jours environ.

5

La préparation M a induit une réaction locale très légère et transitoire. Quelques animaux présentent un érythème très léger à 12 et 24 heures, et un très léger œdème est généralement observé jusqu'à 24 heures.

10 Ainsi, la tolérance locale de la suspension M selon l'invention est notablement meilleure que celle de la suspension Comp2.

Contrairement à Comp2, la suspension M selon l'invention permet donc l'administration quotidienne du médicament.

15

Exemple 7 - temps de remplissage d'une formulation A selon l'invention

Le temps de remplissage d'une seringue au travers d'une aiguille de gauge 29 et de longueur 8 mm est mesuré pour des valeurs croissantes de l'osmolarité.

20 La suspension selon l'invention est préparée selon l'exemple 3. Son pH est de 6,5 et sa concentration de 43 mg/ml.

Le volume de remplissage est de 0,5 ml.

L'osmolarité O de la suspension est réglée par ajouts dosés de NaCl.

25 On obtient les résultats suivants présentés dans le tableau 2 ci-dessous:

TABLEAU 2

Osmolarité O (mOsmol)	Temps de remplissage (s)
120	Remplissage impossible
200	180
300	90
600	50

30 Le réglage de l'osmolarité O selon l'invention permet ainsi de ramener le temps de remplissage d'une seringue à un temps suffisamment court pour permettre aisément un usage quotidien par les patients.

REVENDICATIONS

1 – Formulation injectable d'insuline longue action comprenant une suspension colloïdale, aqueuse et stable de nanoparticules d'au moins un poly(L-leucine-b-L glutamate de sodium) 5 –ci-après dénommé poly(Leu-bloc-Glu), chargées en insuline, caractérisée en ce que :

I– le pH de la formulation est tel que :

$5,8 \leq \text{pH} \leq 7,0$

de préférence, $6,0 \leq \text{pH} \leq 7,0$

10

II– l'osmolarité O (en mOsmol) de la formulation:

$270 \leq O \leq 800$

de préférence, $270 \leq O \leq 600$

et plus préférentiellement encore $270 \leq O \leq 400$

15

III – la viscosité v (en mPa.s) de la formulation mesurée selon un mode opératoire Mv est faible, à savoir telle que:

$v \leq 40$

de préférence $v \leq 25$

20

et plus préférentiellement encore $v \leq 20$

2 – Formulation selon la revendication 1, caractérisée en ce que son osmolarité O est ajustée à l'aide d'au moins un sel monovalent ou multivalent.

25

3 – Formulation selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que la concentration en poly(Leu-bloc-Glu) est inférieure à 60 mg/ml, de préférence comprise entre 10 et 55 mg/ml et de préférence encore comprise entre 30 et 55 mg/ml.

30

4 – Formulation selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que les particules du poly(Leu-bloc-Glu) retenu ont un diamètre hydrodynamique moyen Dh exprimé en nanomètres (nm) et mesuré selon un mode opératoire Md, tel que :

$10 \leq Dh \leq 150$

de préférence, $20 \leq Dh \leq 100$

35

5 – Formulation selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le rapport massique insuline/poly(Leu-bloc-Glu), exprimé en %, est tel que :

$3 \leq \text{insuline/poly(Leu-bloc-Glu)},$

de préférence, $5 \leq \text{insuline/poly(Leu-bloc-Glu)} \leq 11$.

6 – Formulation selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le taux maximal de chargement Ta des nanoparticules avec l'insuline, exprimé en % de masse d'insuline associée par rapport à la masse de poly(Leu-bloc-Glu) et mesuré selon un mode opératoire Ma, est tel que :

$$10 \leq Ta$$

de préférence, $10 \leq Ta \leq 40$

et, plus préférentiellement encore, $12 \leq Ta \leq 25$.

10 7 – Formulation selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'insuline est une insuline humaine non modifiée.

8 – Formulation selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle comprend au moins un conservateur, de préférence sélectionné dans le groupe comprenant : les phénols, les crésols (e.g méta-crésol), les parahydroxybenzoates de méthyle, de propyle, ou de butyle et leurs mélanges.

9 – Solide pulvérulent caractérisé en ce qu'il comprend des nanoparticules de poly(Leu-bloc-Glu) chargées en insuline et en ce qu'il est obtenu à partir de la formulation selon l'une quelconque des revendications 1 à 8.

10 – Procédé de préparation de la formulation selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il consiste essentiellement à mélanger, en milieu liquide aqueux, au moins un poly(Leu-bloc-Glu) et de l'insuline, de préférence sous agitation, à ajouter éventuellement des excipients, au besoin à ajuster le pH à une valeur comprise entre 5,8 et 7,0 et, éventuellement à filtrer la suspension ainsi obtenue.

11 – Procédé de préparation de la formulation selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il consiste essentiellement à mélanger le poly(Leu-bloc-Glu) à l'état pulvérulent, avec une phase aqueuse contenant l'insuline.

12 – Procédé de préparation de la formulation selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il consiste essentiellement à mettre en suspension le solide pulvérulent selon la revendication 8 dans un milieu liquide aqueux, de préférence sous agitation, à ajouter éventuellement des excipients, au besoin à ajuster le pH à une valeur comprise entre 5,8 et 7,0 et éventuellement à filtrer la suspension ainsi obtenue.

13 – Médicament caractérisé en ce qu'il comprend de la formulation injectable d'insuline longue action selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 et/ou de la formulation obtenue par le procédé selon l'une quelconque des revendications 10 à 12 et/ou du solide pulvérulent selon la revendication 9.

5

14 – Médicament selon la revendication 13, caractérisé en ce qu'il est destiné au traitement du diabète.

15 – Médicament selon la revendication 13 ou 14, caractérisé en ce qu'il est susceptible 10 d'assurer au patient diabétique, après une injection sous-cutanée, un niveau basal d'insuline pendant au moins 24 heures.

16 – Médicament selon l'une quelconque des revendications 13 à 15, caractérisé en ce qu'il est constitué par une présentation galénique comprenant, d'une part, du solide pulvérulent 15 selon la revendication 9 et, d'autre part, de manière séparée, du liquide aqueux pour la reconstitution, avant l'administration, de la formulation selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 et/ou de la formulation obtenue par le procédé selon l'une quelconque des revendications 10 à 12.


**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

FA 651571
FR 0451578

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
Y,D	EP 0 734 720 A (FLAMEL TECHNOLOGIES) 2 octobre 1996 (1996-10-02) * page 4, ligne 44 - ligne 54; exemple 14 * -----	1-16	A61K38/28 A61K9/10 A61K9/51 A61K47/42 A61P3/10
Y,D	FR 2 801 226 A (FLAMEL TECHNOLOGIES) 25 mai 2001 (2001-05-25) * exemples 8,9 * -----	1-16	
Y	CONSTANCIS A ET AL: "Macromolecular colloids of diblock poly(amino acids) that bind insulin" JOURNAL OF COLLOID AND INTERFACE SCIENCE 15 SEP 1999 UNITED STATES, vol. 217, no. 2, 15 septembre 1999 (1999-09-15), pages 357-368, XP002319782 ISSN: 0021-9797 * page 358, colonne 1 *	1-16	
A	US 2004/038885 A1 (BRYSON NATHAN ET AL) 26 février 2004 (2004-02-26) * exemple 4 *	1-16	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.Cl.7) A61K
A	US 6 180 141 B1 (LEMERCIER ALAIN ET AL) 30 janvier 2001 (2001-01-30) * exemple 1 *	1-16	
1			
Date d'achèvement de la recherche		Examinateur	
2 mars 2005		Bochelen, D	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrrière-plan technologique O : divulgation non écrite P : document intercalaire			
T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0451578 FA 651571

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **02-03-2005**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
EP 0734720	A	02-10-1996	FR	2732218 A1	04-10-1996
			AT	194490 T	15-07-2000
			AU	706746 B2	24-06-1999
			AU	5337796 A	16-10-1996
			BR	9607863 A	30-06-1998
			CA	2215254 A1	03-10-1996
			CN	1183040 A	27-05-1998
			DE	69609222 D1	17-08-2000
			DE	69609222 T2	22-03-2001
			DK	734720 T3	06-11-2000
			EP	0734720 A1	02-10-1996
			ES	2151138 T3	16-12-2000
			WO	9629991 A1	03-10-1996
			GR	3034613 T3	31-01-2001
			IN	185295 A1	23-12-2000
			JP	11503118 T	23-03-1999
			NZ	305392 A	26-08-1998
			PT	734720 T	29-12-2000
			US	5904936 A	18-05-1999
			ZA	9602446 A	07-08-1996
<hr/>					
FR 2801226	A	25-05-2001	FR	2801226 A1	25-05-2001
			AT	247460 T	15-09-2003
			AU	7798600 A	04-06-2001
			BR	0015690 A	09-07-2002
			CA	2391986 A1	31-05-2001
			CN	1399541 A	26-02-2003
			DE	60004704 D1	25-09-2003
			DE	60004704 T2	08-07-2004
			DK	1239836 T3	24-11-2003
			EP	1239836 A1	18-09-2002
			ES	2206311 T3	16-05-2004
			WO	0137809 A1	31-05-2001
			JP	2003514844 T	22-04-2003
			MX	PA02005191 A	22-09-2003
			PT	1239836 T	30-01-2004
			ZA	200203618 A	07-05-2003
<hr/>					
US 2004038885	A1	26-02-2004	FR	2814952 A1	12-04-2002
			AU	9396001 A	15-04-2002
			BR	0114512 A	21-10-2003
			CA	2425906 A1	11-04-2002
			EP	1322411 A1	02-07-2003
			WO	0228521 A1	11-04-2002
			JP	2004510753 T	08-04-2004
<hr/>					

EPO FORM P0465

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0451578 FA 651571**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 02-03-2005
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6180141	B1 30-01-2001	FR 2746035 A1 AT 206912 T AU 2166097 A CA 2249274 A1 DE 69707433 D1 DE 69707433 T2 DK 888110 T3 EP 0888110 A1 ES 2167727 T3 WO 9734584 A1 JP 2000507934 T PT 888110 T	19-09-1997 15-11-2001 10-10-1997 25-09-1997 22-11-2001 06-06-2002 04-02-2002 07-01-1999 16-05-2002 25-09-1997 27-06-2000 29-04-2002